Über Gesetzmässigkeiten und Eigentümlichkeiten in der Struktur der dritten Cyanbandengruppe.

Inaugural-Dissertation,

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt

und mit den beigefügten Thesen verteidigt

von

Franz Jungbluth

aus Bad Neuenahr.

Leipzig 1904,

Verlag von Johann Ambrosius Barth.

Opponenten:

Otto Buckendahl, cand. rer. nat.
Willy Rech, cand. rer. nat. et math.
W. L. Vershofen, cand. philol.

Meiner lieben Mutter
aus Dankbarkeit für meine glückliche Jugend.

Photographiert man das Spektrum eines zwischen Kohlestäben übergehenden galvanischen Lichtbogens in *kleiner* Dispersion, so zeigt die Aufnahme neun breite, helle Streifen oder Bänder, welche sich über die ganze Länge des Spektrums erstrecken und alle nach dem violetten Ende hin abschattiert sind.[1]) Betrachtet man dieses Spektrum bei Benutzung *stärkerer* Dispersion genauer, so sieht man, daß jeder dieser Streifen aus einer großen Anzahl feiner Linien besteht, welche an den hellsten Stellen, den „Kanten", sehr nahe zusammenliegen, von diesen ausgehend aber sich immer weiter voneinander entfernen, wenn man nach dem violetten Ende hin geht. Meist hat nun jedes Band nicht nur *eine* solche Kante, sondern mehrere kurz hintereinanderliegende; die Gesamtheit dieser zusammengehörigen Kanten oder Köpfe mit ihren dahinterliegenden Linien, die also in kleiner Dispersion *einen* solchen Streifen bildet, nennt man eine Bandengruppe.[2]) Aus den Ergebnissen mehrfacher Untersuchungen schließend, hat man sich die Meinung gebildet, daß fünf der eben erwähnten neun Bandengruppen der *Kohle* selbst zuzuschreiben sind, während die vier anderen Gruppen ihren Ursprung einer Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Stickstoff der umgebenden Luft zu *Cyan* verdanken.

1) Vergl. H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. Bd. I. 1900. Kap. II. § 161 und folgende; hierzu speziell: L. Thomas, Sur la constitution de l'arc éléctrique. Compt. rend. de l'Acad. des sciences 1894. **119.** p. 728—730.

2) Vergl. H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. Bd. II. 1902. Kap. VIII, §§ 383, 384.

Es ist das Verdienst von Kayser und Runge,[1]) einzelne dieser Kohle- bezw. Cyanbandengruppen gemessen und auf Gesetzmäßigkeiten in der Lage der Linien geprüft zu haben. Von allen untersuchten Bandengruppen erschien ihnen die dritte Cyanbandengruppe, welche bei der Wellenlänge λ 3884[2]) beginnt, als die interessanteste.[3]) Bei genügend großer Dispersion sieht man bei dieser Bande (siehe die Tafel) schon mit bloßem Auge, daß von der ersten Kante eine Reihe von Linien ausgeht, deren Abstände in dem Maße, wie sie sich von der Kante entfernen, zunehmen. Bei λ 3872 setzt dann eine zweite Kante ein, so daß hier das Bild schon ein verwickelteres wird; immerhin erkennt man noch, besonders in einiger Entfernung von der zweiten Kante, die stärkeren Linien der von der ersten Kante ausgehenden Linienserie, wohingegen die von der zweiten Kante auslaufende Reihe weniger gut zu übersehen ist. Bei der Wellenlänge λ 3862 kommt dann eine dritte Kante hinzu, von welcher wieder eine neue Linienreihe ausgeht, während gleichzeitig die von den beiden ersten Kanten herkommenden Serien weiterlaufen, bei der Wellenlänge λ 3855 dann noch eine vierte und bei λ 3852 scheinbar noch eine fünfte Kante. Hinter dieser Kante nun ist das Bild ein sehr kompliziertes, da hier alle Serien übereinanderfallen, und es würde kaum möglich sein, die einzelnen Serien weiter zu verfolgen, wenn die Linien verschiedener Reihen sich nicht in ihren Intensitäten unterschieden. Es ist aber ganz deutlich zu bemerken, daß die von der ersten Kante ausgehende Serie viel stärkere Linien aufweist, als die von der zweiten Kante ausgehende, diese wieder stärkere, als die von der dritten Kante ausgehende, u. s. f. Bei dieser Arbeit des Heraussuchens der Serien kommt uns der Umstand, daß Linien verschiedener Serien koinzidieren, was infolge der ungleich großen Abstände zwischen den Linien in den einzelnen Reihen häufiger geschieht, sehr zu Hilfe. An den Stellen, wo z. B. mehrere Serien in einer Linie koinzidieren, sieht man dann neben der starken, gemeinschaftlichen Linie zunächst eine schwache Linie, dicht daneben eine stärkere, dann noch eine stärkere und vielleicht sogar eine vierte stärkste (z. B. bei $\lambda\lambda$ 3837, 3801, 3768, 3705).

---

1) H. Kayser u. C. Runge, Über die im galvanischen Lichtbogen auftretenden Bandenspektra der Kohle. Abhandl. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin vom Jahre 1889.

2) Über Einheiten der Wellenlängen vergl.: H. Kayser, Einleitung zu Bd. I des Handbuchs der Spektroskopie.

3) H. Kayser und C. Runge, Über die im galv. Lichtbogen u s.w. Abhandl. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. 1889. § 4.

Kayser und Runge unterzogen sich nun der mühevollen Arbeit, die von den drei ersten Kanten ausgehenden Serien so weit wie möglich aus dem Liniengewirr herauszusuchen und die Gesetze, nach welchen die Linien gelagert sind, zu studieren.[1] Wenige Jahre vorher hatte Deslandres[2] ähnliche Untersuchungen an anderen Bandenspektren angestellt und hatte gefunden, daß die Schwingungszahlen der aufeinanderfolgenden Linien einer Serie eine arithmetische Reihe bilden. Dieses Gesetz prüften nun Kayser und Runge an den drei gefundenen Serien und gelangten dabei zu dem Schluß, daß es nur für den Anfang einer jeden Serie richtig ist, während später die Linien wesentlich näher zusammenliegen, als es nach dem Gesetz der arithmetischen Reihe der Fall wäre. Das Deslandressche Gesetz erwies sich also nur als eine Annäherung an die wahre Struktur dieser Bandengruppe.

Zu ganz anderen Vorstellungen über den Bau der Banden gelangte Thiele[3] durch seine eingehenden Untersuchungen von Spektren. Er wurde zu der Annahme geführt, daß die Wellenlängen der Linien einer Serie sich darstellen lassen durch die Gleichung:

$$\lambda = f[(n + c)^2],$$

worin n die Werte der ganzen Zahlen durchläuft und die Konstante c die „*Phase*" der Serie genannt wird. Nach dieser Gleichung muß λ einen kleinsten Wert: $\lambda_0 = f(0)$ und einen größten Wert: $\lambda_\infty = f(\infty)$ haben; die physikalische Bedeutung dieser Folgerung ist, daß jede Serie nicht nur einen *Kopf* (bei λ_0) besitzt, in welchem eine endliche Menge Linien zusammenliegt und von welchem die Serie mit wachsenden Abständen ausgeht, sondern auch eine *entgegengesetzte Stelle* (bei λ_∞), zu welcher die Serie mit wieder abnehmenden Abständen hinläuft und in welcher eine unendliche Anzahl von Linien aufeinanderliegt. Diese Stelle nennt Thiele im Gegensatz zum Kopf den „*Schwanz*" der Serie; sie muß also eine Schattierung nach Rot hin zeigen. Während also Deslandres nach dem Gesetz der

1) H. Kayser und C. Runge, Über die im galv. Lichtbogen u.s.w. Abhandl. Berl. Akad. 1889. § 9.

2) H. Deslandres, Loi de répartition des raies et des bandes, commune à plusieurs spectres de bandes. Compt. rend. **104.** p. 972—976. 1887. — Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes. Compt. rend. **103.** p. 375 bis 379. 1886.

3) T. N. Thiele, On the law of spectral series. Astrophysical Journal. **6.** p. 65—76. 1897. — Resolution into series of the third band of the carbon band-spectrum. Astrophysical Journ. **8.** p. 1—27. 1898.

arithmetischen Reihe stetig wachsende Abstände zwischen den aufeinanderfolgenden Linien einer Serie annimmt, sagt die Theorie von Thiele aus, daß diese Abstände in einer gewissen Entfernung von der Kante ein Maximum erreichen und dann wieder abnehmen.

Um die Richtigkeit dieser Theorie zu prüfen, greift nun Prof. Kayser[1]) wieder zu den Messungen der dritten Cyanbandengruppe; aber leider erweisen sich für diese Prüfung die Messungen als nicht genügend genau. Zwar glaubten Kayser und Runge schon bei ihren ersten Untersuchungen im Jahre 1889[2]) ähnliche Beobachtungen gemacht zu haben. „Der Abstand der Linien wächst nur bis zu einem gewissen Punkte, dann bleibt er konstant, noch weiter *scheint* er sehr schnell abzunehmen; aber", so fahren sie fort, „hier wird das Bild überhaupt sehr unklar, man kann die Serien nicht mehr unterscheiden." In demselben Abschnitt heißt es weiter: „Es sieht beinahe so aus, als ob die Serien wieder zu Kanten (z. B. bei $\lambda = 3603$) zusammenliefen, doch haben wir darüber keine Sicherheit gewinnen können." Beide Beobachtungen würden also zugunsten der neuen Theorie sprechen, doch sind sie, wie Prof. Kayser in seinem „Handbuch der Spektroskopie"[3]) selbst sagt, so unsicher, daß sich aus ihnen kein sicherer Schluß ziehen läßt. Eine ganz ähnliche Beobachtung hat Thiele selbst gemacht;[4]) er bemerkte auf einer Rydbergschen Photographie des Cyanspektrums „certain sudden interruptions of the fogged gray background which might be regarded as the tails of the series in this spectrum, though it is impossible to refer each one to its series."

Diese Vermutungen wurden vor wenigen Jahren bestätigt durch eine Arbeit von M. King,[5]) die also der Thieleschen Theorie einen größeren Grad von Wahrscheinlichkeit verleiht. King fand bei sehr langer Expositionsdauer auf den Photographien des Kohlespektrums tatsächlich scharf abgegrenzte Kanten, die nach dem roten Ende hin abschattiert waren, also in der den bisher bekannten Kanten entgegengesetzten Richtung. Diese Stellen sprach er als die von

1) H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. II. 1902. Kap. VIII. § 394.

2) H. Kayser und C. Runge, Über die im galv. Lichtbogen u.s.w. Abhandl. Berl. Akad. 1889. § 4.

3) H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. II. 1902. Kap. VIII. p. 486.

4) T. N. Thiele, On the law of spectral series. Astrophysical Journal. **6.** 1897. p. 67.

5) A. S. King, Some new peculiarities in the structure of cyanogen bands. Astrophysical Journal. **14.** 1901. p. 323—330. Übersetzt in den Annalen der Physik. 4. Folge. **7.** 1902. p. 791—800.

Thiele vermuteten Schwänze an und fand zwischen ihren Wellenlängen und denen der Köpfe einfache numerische Relationen, welche diese Annahme plausibel erscheinen ließen.

Um nun darüber Klarheit zu erhalten, ob diese Kingsche Annahme und mit ihr die Thielesche Hypothese richtig seien, lag der Gedanke nahe, durch Benutzung stärkerer Dispersion bei den photographischen Aufnahmen, als sie Kayser und Runge angewandt hatten, genauere Messungen der Cyanbandengruppe bei λ 3884 vorzunehmen und an diesen die Gesetzmäßigkeiten in den Serien nachzuprüfen. Einer Anregung in dieser Richtung von seiten des Herrn Prof. Kayser verdanke ich das engere Thema meiner Arbeit.

Die photographischen Aufnahmen wurden mit Hilfe eines Rowlandschen Konkavgitters,[1]) dessen Krümmungsradius 6,6 m betrug und das etwa 630 Linien auf einem Millimeter besaß, gemacht. Die Gitteraufstellung war die zuerst von Abney[2]) vorgeschlagene mit feststehendem Gitter und fester Kamera und einem auf einem Halbkreise beweglichen Spalt. Herr Dr. Konen, der sich um diese neue Gitteraufstellung im physikalischen Institut der Universität Bonn Verdienste erworben, hat darüber vor kurzem eingehend berichtet.[3]) Der wesentliche Vorzug dieser Aufstellung liegt darin, daß durch sie Aufnahmen in höheren Ordnungen ermöglicht werden. Als Lichtquelle wurde der violette Kern im Lichtbogen zweier möglichst reiner Kohlestäbe benutzt; einerseits, um dem Bogen immer neuen Stickstoff aus der Atmosphäre zuzuführen, und anderseits, damit der Bogen ruhiger brenne, wurden die Verbrennungsprodukte abgesaugt. Um die verschiedenen Teile der Bandengruppe auf der photographischen Platte scharf zu erhalten, mußten Aufnahmen von sehr verschieden langer Dauer gemacht werden; während die Kanten schon nach 5—10 Minuten hinreichend deutlich erschienen, erforderten die Aufnahmen der gegen das Ende hin liegenden Linien und der Schwänze eine Expositionszeit von etwa 2 Stunden. (Die beigegebene Tafel stellt den positiven Abdruck einer zweistündigen Aufnahme dar; die Kanten sind hierbei überexponiert.) Bei den

1) H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. I. 1900. Kap. I. § 118 und Kap. IV. §§ 435—452.

2) W. de W. Abney, Philosophical Transactions. 1886. **177.** II. p. 457—469; vergl. H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. I. § 450.

3) H. Konen, Über die Kruppsche Gitteraufstellung im physikalischen Institut der Universität Bonn. Zeitschr. f. wiss. Phot. Bd. **I.** Heft 10. 1903.

längeren Belichtungszeiten bedurfte es einer Regulierung der Temperatur des Raumes, in welchem das Gitter aufgestellt ist, da eine Erhöhung der Temperatur um $^{5}/_{10}$ Grad, hervorgerufen durch den brennenden Bogen und die meist auf 5 Ampère beanspruchten Widerstände, eine merkliche Verschiebung des Spektrums, d. h. ein Undeutlichwerden der Linien, zur Folge hatte. Bei den Aufnahmen wurden gewöhnliche Trockenplatten benutzt; entwickelt wurde meistens mit Glycin. Die Probeaufnahmen zeigten, daß in der *dritten Ordnung* die Dispersion gerade die erwünschte Größe hatte, um genügend genaue Messungen vornehmen zu können. Das Messen der Platten geschah mit Hilfe der nach den Angaben von Prof. Kayser [1]) konstruierten Teilmaschine; als Normalen wurden die von Kayser [2]) berechneten Eisenlinien benutzt. Auf *einen* Teilstrich der Maschine kamen im Mittel 0,284 Angström-Einheiten; der mittlere Fehler beträgt bei gut zu messenden Linien 0,003 A.-E.

Die Anwendung der starken Dispersion, die hauptsächlich gemacht wurde, um genauere Messungen zu ermöglichen, erwies sich auch insofern als fruchtbar, als sie uns über verschiedene *Eigentümlichkeiten im Bau der Bandengruppe* belehrte, über die man bisher noch nicht unterrichtet war. Betrachtet man zunächst den Teil der Bande, welcher zwischen dem ersten und zweiten Kopf liegt, so sieht man drei Serien, welche vom ersten Kopf ausgehen, als erste eine ganz schwache, die nur stellenweise und auch dann nur sehr schlecht zu sehen ist, dann eine Serie von starken, dicht nebeneinander liegenden Doppellinien, und endlich eine letzte, ebenfalls starke Serie. Es hat den Anschein, als ob diese letzte Serie die eigentliche Kante bei λ 3883,56 bilde, die Doppellinienserie aber schon vorher, etwa bei λ 3883,63 beginne, eine Erscheinung, die auch schon an anderen Bandengruppen beobachtet worden ist. [3]) Beachtenswert ist der Intensitätsverlauf in diesen beiden Serien; während nämlich die Serie der Doppellinien im Anfang die stärkere ist, dann aber schnell an Intensität abnimmt und schon bei λ 3838 kaum noch zu erkennen ist, entwickelt sich die zuerst schwächere letzte Serie, die einmal sogar (bei λ 3875) gar nicht sichtbar ist, zu immer größerer Intensität und bildet die starke Hauptserie, die Kayser und Runge schon bis λ 3640 verfolgen konnten. Auch

1) Vergl. H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. I. Kap. V. § 567.

2) H. Kayser, Normalen aus dem Eisenspektrum. Annalen der Physik. Bd. III. 4. Folge.

3) Vergl. H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. II. p. 484.

diese Beobachtungen decken sich mit an anderen Banden schon früher gemachten.[1]) Hinter dem zweiten Kopf ist das Bild selbst bei dieser großen Auflösung ein so verwickeltes, daß sich eine bestimmte Aussage über die Struktur nicht machen läßt; doch hat es den Anschein, als ob auch hier wieder zwei Hauptserien ausgingen, die aber dieses Mal beide aus Doppellinien bestehen. Bei den folgenden Kanten ist die Entwirrung unmöglich.

Verfolgt man die Serien in ihrem ferneren Verlauf, so zeigt sich eine weitere Eigentümlichkeit, die seltsamerweise vorher noch nicht beobachtet worden ist, obgleich sie auch schon in der ersten Ordnung deutlich zu erkennen ist. Die Linien werden nämlich mit zunehmendem Abstand vom Beginn der Bande immer breiter und teilen sich schließlich, wenn sie eine Breite von etwa 0,07 A.-E. erreicht haben: es zeigen sich *Doppellinien*, ähnlich den Doppellinien kurz vor und hinter dem zweiten Kopfe. Der Abstand dieser getrennten Linien wächst noch bis zu einer Größe von 0,09—0,1 A.-E., um dann abzunehmen, bis endlich wieder eine Vereinigung zu einer Linie stattfindet. Dieses Verhalten zeigen alle gefundenen Serien in gleicher Weise, so daß in gewissen Teilen der Bandengruppe (z. B. vor und hinter λ 3700, siehe die Tafel) nur Doppellinien liegen. (Zum Verständnis der Tafel sei bemerkt, daß die scharfen, starken, einfachen Linien auf der Photographie von Eisenverunreinigungen der benutzten Kohlen herrühren.) Diese Erscheinung, die man anders ausgedrückt so beschreiben kann, daß man sagt, die Bande besteht aus Doppellinien, die teilweise nahe zusammen und sogar aufeinander liegen, ist recht bemerkenswert und darf bei einer endgültigen Theorie über den Ursprung der Spektra nicht außer acht gelassen werden. (Es sei hier nebenher erwähnt, daß die vierte Cyanbandengruppe bei λ 3590 dasselbe Verhalten zeigt.)

In dieser Erscheinung ist aber eine Unregelmäßigkeit zu bemerken, welche so häufig wiederkehrt, daß man sie fast als Regelmäßigkeit ansprechen möchte. Es finden sich nämlich Stellen — an denen, aus dem Bau der Serien folgend, eine Doppellinie liegen müßte —, wo diese plötzlich fehlt, an ihrer Stelle aber dicht neben der gesetzmäßigen Lage eine stärkere, einfache Linie liegt. Betrachtet man z. B. das Stück zwischen den beiden ersten Kanten, so sieht man, daß kurz vor dem zweiten Kopf (etwa bei λ 3873) eine solche Unterbrechung in der Serie der Doppellinien eintritt;

1) Vergl. H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. II. p. 483 oben.

dieselbe Erscheinung trifft man im Verlaufe der anderen Serien noch verschiedene Male — in den beigefügten Zahlentabellen sind die Stellen leicht zu ersehen —, und zwar in so ausgesprochener Weise, daß eine durch zufälliges Aufeinanderfallen mehrerer Linien verursachte Beobachtungstäuschung ausgeschlossen ist.

Was nun die Untersuchungen über die *Gesetzmäßigkeiten in der Struktur der Bandengruppe* betrifft, so ist es mir gelungen, aus dem Gewirr vier Serien regelmäßig gelagerter Linien herauszufinden, und zwar durch Benutzung der eingangs erwähnten Hilfsmittel, welche uns die Intensitätsdifferenzen in den verschiedenen Serien und die Stellen der Koinzidenz von Linien verschiedener Serien in die Hand geben. Allerdings war es nur bei der stärksten Serie möglich, sie bis zum Kopfe zu verfolgen; sie ist die letzte der vom ersten Kopf ausgehenden Serien. Die drei anderen Reihen konnte ich nur bis kurz vor ihre Köpfe mit Sicherheit bestimmen; doch läßt sich trotz dieses Mangels mit Bestimmtheit sagen, daß die zweitstärkste Serie zum zweiten Kopf, die drittstärkste zum dritten Kopf und die schwächste zum vierten Kopf läuft. An einigen Stellen glaube ich auch noch eine fünfte Serie gefunden zu haben; doch läßt sich diese Reihe wegen der sehr kleinen Abstände ihrer Linien und der dadurch hervorgerufenen häufigen Koinzidenzen mit stärkeren Linien anderer Serien nicht sicher festlegen. Derselbe Übelstand machte sich auch schon bei der vierten Serie störend bemerkbar, so daß ich auch diese Serie eine Strecke lang nicht verfolgen konnte.

Meine Versuche, welche mir Mittel zur Prüfung der Thieleschen Hypothese liefern sollten, gingen zunächst, einer Anregung von Prof. Kayser folgend, dahin, die stärkste Serie, von der man erwarten konnte, daß sie am längsten sichtbar bleiben würde, möglichst weit, vielleicht sogar bis zu einer der von King gefundenen umgekehrten Kanten zu verfolgen. Doch zeigte sich sehr bald, daß es nicht möglich sei, die Serie weiter als bis λ 3640, bis zu welcher Grenze auch schon Kayser und Runge gelangt waren, herauszusuchen, und zwar aus zwei Gründen. Während nämlich erstens in etwas näher zu den Kanten hin liegenden Teilen der Bande (z. B. bei λ 3708) die Unterschiede der Intensitäten in den verschiedenen Serien so ins Auge springend sind, daß man die Serien fast gegenständlich zu sehen glaubt — etwa wie immer weiter zurückliegende Bäume einer Allee —, hört in der Gegend von λ 3650 diese Unterscheidung gänzlich auf; die letzten Linien,

von denen man noch mit ziemlicher Sicherheit annehmen kann, daß sie zur Serie gehören, sind oft schon viel schwächer als andere, daneben liegende Linien. Und ferner beginnt, während kurz vorher kaum andere Linien als diejenigen der beiden stärksten Serien zu sehen sind (z. B. bei λ 3670), gerade hier wieder ein solches Gewirr von Linien — es liegen stellenweise 10 Linien auf einer A.-E. —, daß eine bestimmte Weiterführung der Serie unmöglich ist. Aus denselben Gründen waren ähnliche Versuche bei der zweiten Serie erfolglos, während die dritte und vierte Serie schon früher (etwa bei λ 3680) so schwach werden, daß man sie nicht mehr verfolgen kann.

Dieser nächstliegende Weg war also nicht gangbar; doch zeigte sich bald ein anderer, der in einer von der des ersten ganz verschiedenen Richtung lief, aber doch zu demselben Ziele führte. Um nämlich den Verlauf jeder einzelnen Serie besser übersehen, und ferner auch, um die Serien untereinander in ihrem Verlauf vergleichen zu können, machte ich von dem Hilfsmittel der graphischen Auftragung Gebrauch. Als Abszisse benutzte ich die Abstände der Linien vom Anfangspunkt der Bandengruppe und als Ordinate ein Vielfaches der Abstände der Linien einer Serie voneinander, beide Male in Wellenlängen. Um ein ganz genaues Bild des Serienverlaufes zu erhalten, trug ich den Abstand zweier Linien immer in der Mitte zwischen beiden auf; der Umstand, daß die Linien in einzelnen Teilen als Doppellinien gemessen wurden, komplizierte die Rechnung insofern, als in diesen Fällen zunächst zwischen den Wellenlängen der Doppellinien das Mittel genommen werden mußte. Die zur Aufzeichnung benutzten, durch Messung gefundenen Wellenlängen finden sich in den folgenden Tabellen (Seiten 98—103).

Mit Hilfe dieser Werte erhält man die ausgezogenen Stellen der auf Seite 104 gezeichneten Kurven; die punktierten Stellen sind hypothetisch.

Die vorderen Teile der Kurven zeigen uns nichts Neues; immerhin ist es interessant zu sehen, daß sie kurz hinter den Köpfen einen parallelen Verlauf in fast gleichen Abständen nehmen. Von ungleich größerem Interesse aber ist für uns, daß im weiteren Verlauf bei *allen* Serien, wie Kayser und Runge es schon bei der ersten Serie beobachtet zu haben glaubten, die Abstände der aufeinanderfolgenden Linien nur bis zu einer bestimmten Grenze wachsen, eine Zeitlang konstant bleiben und dann wieder abnehmen. Wir finden also hier eine *Bestätigung des einen Teiles der Thiele-*

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
3883,558			
—			
—			
—			
246			
136			
82,999			
850			
646			
444			
228			
011			
81,734			
456			
149			
80,809			
470			
106			
79,727			
330			
78,903			
455			
77,984			
502			
76,990			
459			
75,913			
—			
74,752			
137			
73,507			
72,871			
182			
71,526	**3871,526**		
70,801	—		
059	—		
69,313	—		
68,542	—		
67,745	—		
66,942	—		
118	—		
65,282	—		
64,428	—		
63,524	—		
62,624	—		
	—	**3861,846**	
61,691	—	—	
60,753	—	—	
59,797	—	—	
58,823		—	
	58,031	—	
57,812		—	
	57,280	—	
56,788		—	
	56,526	—	
55,756	55,756	—	
	54,978	—	

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
		—	**3854,849**
3854,691		—	—
	3854,184	—	—
53,623		—	—
	53,352	—	—
52,527	52,527	—	—
	51,655	—	—
51,421		—	—
	50,779	—	—
50,294			—
	49,880		—
49,144		—	—
	48,972		
	063	—	—
47,970			
	47,098	—	—
46,786			
	46,134	—	—
45,576			
	45,153	—	—
44,362			
	44,142	—	—
43,121	43,121		
	42,084	—	—
41,861			
	41,035	3841,035	—
40,586			
		40,235	—
	39,955		
39,299		39,299	—
	38,870		
		38,470	—
37,988			
	37,759		—
		37,549	
			37,015
36,645	36,645	36,645	
			36,249
		35,677	
	35,490		35,490
35,306			
		34,727	34,727
	34,336		
33,949			33,949
		33,744	
	33,170		
			018
		32,773	
32,571			
			32,189
	31,983		
		31,757	
			31,320
31,170			
	30,772	30,772	
			30,486
29,754		29,754	

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
	3829,553		3829,553
		3828,644	
			28,565
3828,320	28,320		
			27,773
			695
		27,502	
	27,086		
	014		
26,916			26,916
827			827
		26,439	
		325	
			25,909
	25,819		819
	736		
25,455			
350		25,350	
		261	
			24,938
			869
	24,533		
	456		
		24,226	
		148	
23,976			23,976
887			887
	23,240		
	169		
		23,086	
		011	23,011
			22,904
22,484			
390	Y[1]		
	21,980	21,980	21,980
	834	834	834
20,962	⅄		20,962
878			878
		20,782	
		704	
	20,549		
			19,928
			867
		19,607	
		527	
19,428			
349			
	19,199		
			18,894
			812
		18,411	
		332	
17,880	17,880		17,880

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
3817,803	3817,803		3817,803
		3817,201	
		115	
			16,768
			684
	16,429		
16,333	333		
228			
		15,984	
		895	
			15,674
			604
	15,049		
	14,960		
14,744		14,744	
656		656	
			14,573
			488
	13,634		
	563		
		13,476	13,476
		392	392
13,146			
058			
			12,340
	12,217	12,217	217
	121	121	
11,534			
446			
			11,208
			128
		10,941	
		855	
	10,763		
	681		
			10,064
			09,993
09,903			
824			
		09,644	
		555	
	09.310		
	229		
			08,895
			811
08,290		08,290	
	07,835		
	746		07,746
			642
		07,017	
		06,931	
06 599			06,599
514			514

1) Das Zeichen Y ⅄ bedeutet, daß dazwischen eine dichte Gruppe von Linien einen dunklen Grund bilden.

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
	3806,343		
	262		
		3805,678	
		592	
			3805,345
			273
3804,934			
842	04,842		
	753		
		04,323	
		242	
			04,140
			070
	03,330		
03,240	240		
148			
		02,959	02,959
		869	869
	Y 01,795		
	710		01,710
		01,626	626
01,531		531	
⅄ 441			—
	00,249		
	177	00,177	
		120	
3799,818			
724			
		3798,792	—
	3798,697	697	
	600		
98,083			
97,993			
		97,385	—
		300	
	97,114		
	030		
96,338			—
247			
		95,957	
		875	
	95,530		
	447		
94,569		94,569	—
484		484	
	93,939		
	850		
		93,080	
		92,996	
92,802			—
717			
	92,319		
	230		
		91,622	
		538	
91,007			
90,917			—

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
	3790,688		
	601		
		3790,145	—
		033	
3789,194			
116			
	89,037		
	88,952		
		88,675	
		588	—
87,379	87,379		
217	217		
		87,032	
		86,922	—
	85,715		
	624		
85,535		85,535	
454		454	
	84,046	84,046	—
	83,943	83,943	
83,683			
593			
		82,530	
		444	
	82,353		
	255		—
81,833			
729			
		80,992	
		889	
	80,654		—
	551		
79,956			
860			
		79,445	
		350	—
	78,948		
	854		
78,067			
77,973			—
		77,885	
		795	
	77,220		
		76,323	—
		234	
76,156			
069			
	75,426		
	332		—
		74,731	
		642	
74,253			
163			
	73,694		
	606		—
		73,148	
		059	

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
3772,325			
233			—
	3771,947		
	855		
		3771,556	
		457	
70,397			
292			
	70,171		—
	074		
		69,943	
		848	
68,463			
383	68,383		
	300	68,300	
		220	
			—
		66,698	
	66,602	602	
66,474	474		
369			
		65,068	
		64,980	
	64,798		—
	705		
64,507			
410			
		63,432	
		340	
	62,995		
	900		
62,522			—
431			
		61,787	
		680	
	61,170		
	080		
60,523			
435			
		Y 60,183	
		⅄ 037	—
	59,336		
	241		
Y 58,511		58,511	
⅄ 366		366	
	57,489		
	400		
		56,809	
		731	
56,492			—
402			
	55,634		
	546		
		—	
54,457			
369			—
	53,773		

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
	3753,684		—
		3753,343	
		253	
3752,412			
323			—
	51,902		
	810		
		51,679	
		593	—
50,357			
269			
	50,035	50,035	
	49,924	49,924	
			—
48,297		48,297	
206		206	
	48,129		
	049		—
		46,583	
		498	
46,229	46,229		
132	132		—
		44,875	
		787	
	Y 44,259		
44,128	128		
⅄ 048			
			3743,581
			494
		43,156	
		070	
	42,408		
	324		
42,043			42,043
41,954			41,954
		41,431	
		349	
			40,635
	40,500		500
	411		
39,939			
854			
		39,707	
		624	
			39,158
			074
	38,571		
	490		
		37,984	
		904	
37,822			
748			
			37,663
			567
	36,644		
	561		
		254	

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
		3736,171	3736,171
			092
3735,595			
	3734,711		34,711
	616		616
		34,440	
33,577			
489			
			33,206
			123
	32,785	32,785	
	690	690	
			31,722
			640
31,441			
355			
		31,082	
		010	
	30,821		
	737		
			30,244
			161
29,295		29,295	
211		211	
	28,870		
	783		28,783
			694
		27,539	
		451	
			27,304
			229
27,131			
053			
	26,901		
	826		
		25,793	25,793
		719	719
24,956	24,956		
867	867		
		24,057	—
		23,980	
	22,967		
	886		22,886
22,790			790
715			
		22,314	
		238	
			21,443
			370
	20,996		
	919		
20,614		20,614	
533		533	
			20,016
			19,943
	19,041		

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
		3718,838	
		764	
			3718,602
			522
3718,433			
349			
			17,195
		17,110	110
	3717,024	024	
	16,944		
16,243			
168			
			15,804
			734
		15,372	
		297	
	15,049		
	14,974		
			14,419
			348
14,040			
13,964			
		13,640	
		568	
	13,067		13,067
	12,987		12,987
		11,921	
11,836		836	
764			
			11,710
			661
	11,077		
	005		
			10,420
09,628			
558		—	
	09,096		
	016		09,016
			08,922
		08,451	
		377	
			07,690
			622
07,413			
334			
	07,098		
	028		
		06,740	
		672	
			06,398
			343
05,193			
117	05,117		05,117
	037	05,037	037
		04,965	
			03,887
			825

Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
		3703,336	
		03,270	
	3703,123		
	049		
3702,959			
895			
			3702,619
		01,636	
		574	
			01,425
	01,123		
	063		
00,738			—
662			
		3699,958	
		894	
	3699,138		—
	080		
3698,500			
435			
		98,284	—
		220	
	97,130		
	064		—
		96,605	
		557	
96,256			—
197			
	95,149		
	090		—
		94,956	
94,022			
93,958			
		93,264	—
	93,172		
	113		
91,776			
716			—
		91,653	
	91,189		
	132		—
		90,034	
89,532			
471			—
	89,209		
	160		
		88,435	—
87,254	87,254		
		86,849	
			—
		85,310	
	85,252		
85,015			
		83,717	—
	83,290		
82,761		—	
	81,333		—

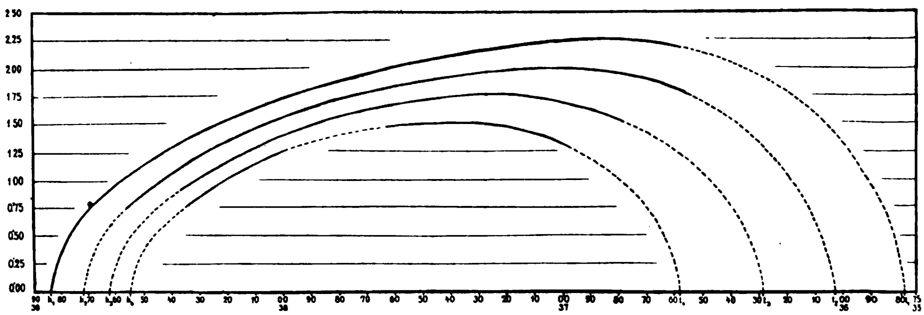
Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
3680,506			
	3679,365	—	
78,252			—
	77,428		
75,997		—	—
	75,490		
73,741		—	—
	73,563		
		—	—
	71,639		
71,492		—	—
	69,746		
69,241			—
	67,840	—	
66,997			—
	65,954	—	
64,768			—
	64,090		
62,522		—	—
	62,220		—
		—	—
	60,394		—
60,288		—	—
	58,563		—
		—	**3658,275**
58,054			
	56,749	—	
55,832			
	54,976		
53,617		—	
	53,234		
		—	
	51,522		
51,417		—	
	49,877		
49,210		—	
	48,276		
47,031		—	
	46,757		
		—	
	45,281	—	
44,828		—	
	—	—	
42,644		—	
	—	—	
40,449		—	
—	—	—	
	—	—	
—	—	—	
	—	—	
—	—	—	
—	—	**3628,984**	
—	—		
—	—		
—	**3603,12** [1]		
—			
3579,—			

1) Wert nach King.

schen Hypothese. Hierbei möchte ich auf eine seltsame Gesetzmäßigkeit aufmerksam machen: es zeigt sich, daß *die Maximalabstände in den einzelnen Serien eine arithmetische Reihe* bilden. Die Annäherungswerte dieser Abstände sind nämlich:

Serie	Maximalabstand	Differenz
I	2,25	
II	2,00	0,25
III	1,75	0,25
IV	1,50	0,25

Über etwas wesentlich Neues endlich belehren uns die Kurven, indem sie uns zeigen, daß die *stärkste,* vom *ersten* Kopf ausgehende Serie den *größten* Maximalabstand erlangt und erst am *spätesten* anfängt wieder abnehmende Differenzen zu zeigen, wohingegen die



vom *vierten* Kopf auslaufende *schwächste* Serie die *am wenigsten großen* Abstände erreicht und *früher* als alle anderen Serien abnehmende Abstände aufweist. Diese Tatsache führt uns mit ziemlicher Sicherheit zu dem Schluß, daß von allen Serien die erste, stärkste am weitesten läuft und die letzte, schwächste am wenigsten weit, mit anderen Worten, daß, wenn die Serien überhaupt zu Schwänzen gehen, jedenfalls der Schwanz der von der ersten Kante ausgehenden Serie am weitesten entfernt, dagegen der Schwanz der vom vierten Kopf auslaufenden Serie den Kanten am nächsten liegen muß. Es würde wenigstens allen unseren Kenntnissen von verwandten physikalischen Erscheinungen widersprechen, wenn die Verhältnisse andere wären, um so mehr, als sowohl die Unterschiede in den Intensitäten als auch die ungleich großen Abstände der

Linien der verschiedenen Serien uns ein Bild der in jeder Serie enthaltenen Energie geben.

Eine ergänzende Bestätigung findet dieser Schluß in einer weiteren, bisher noch nicht beobachteten Erscheinung. Wenn man nämlich bei den umgekehrten Kanten — von denen, genau wie bei den Köpfen, immer mehrere in einer Gruppe zusammen liegen — die Intensitäten der zu einer solchen Gruppe zusammengehörigen betrachtet, so zeigt sich, daß die am weitesten zum violetten Ende hin liegende Kante die hellste ist, während die Helligkeit der anderen in der Reihenfolge nach Rot hin regelmäßig abnimmt, umgekehrt wie bei den Köpfen. (Diese Erscheinung ist z. B. an den drei Schwänzen bei $\lambda\lambda$ 3658, 3629 und 3603 auf der Tafel ganz deutlich zu erkennen.) Wir dürfen es also als erwiesen betrachten, daß, wenn eine Kantengruppe mit einer Gruppe von Schwänzen zusammengehört, immer *der erste Kopf und der letzte Schwanz, der zweite Kopf und der vorletzte Schwanz u. s. f. von einer Serie gebildet* werden.

Diese Erkenntnis rückt nun die von King gefundenen Resultate in ein ganz neues Licht. King[1]) dividiert nämlich jedesmal den *ersten* Kopf einer Bandengruppe durch den *ersten* Schwanz einer Gruppe von umgekehrten Kanten, den *zweiten* Kopf durch den *zweiten* Schwanz und findet dann zwischen diesen Quotienten in den verschiedenen Bandengruppen einfache numerische Relationen. Da nun diese Zusammenfassung, wie eben gezeigt, mit der eigentlichen Struktur einer Bandengruppe nichts zu tun hat, so beweisen die Relationen um so mehr, daß die verschiedenen Kopfgruppen und Gruppen von umgekehrten Kanten als ein Ganzes zusammengehören. Wir hätten also hiermit eine neue *Bestätigung der Kingschen Annahme und damit des anderen Teiles der Thieleschen Hypothese* gefunden.

Es entsteht jetzt die Frage: „Zu welcher Gruppe von Schwänzen laufen die Serien der dritten Cyanbandengruppe?“ Wir können zunächst zweifelhaft sein, ob sie zu der Schwanzgruppe, die bei λ 3658 beginnt, oder zu der Gruppe, die bei λ 3466 ihren ersten Schwanz hat, gehen. King neigt zu der letzteren Annahme, doch scheint mir diese nicht richtig zu sein. Wir können allerdings für die stärkste Serie, wenn wir bei ihr einen symmetrischen Verlauf vor-

1) A. S. King, Some new peculiarities in the structure of cyanogen bands. Astrophysical Journal. 14. 1901. p. 326 u. 327; in der Übersetzung in den Annalen der Physik. 4. Folge. Bd. 7. p. 795 u. 796.

aussetzen, d. h. wenn wir voraussetzen, daß die gezeichnete Kurve gerade so schnell abfällt, wie sie aufsteigt, den ersten Schwanz bei λ 3466 annehmen; [1]) dann fehlen uns aber, nachdem wir jetzt wissen, daß für die drei anderen Serien die Schwänze schon vorher liegen müssen, für diese die Schwänze. Richtiger scheint mir die Annahme, daß die Serien zu der Schwanzgruppe λλ 3658, 3629, 3603 laufen. Dann müßte man allerdings voraussetzen, daß die Abnahme in den Abständen der Linien wesentlich schneller erfolge, als die Zunahme. Es sieht so aus, als ob dies tatsächlich der Fall sei; doch läßt sich, da man alle Serien nur bis auf wenige Linien hinter der Gegend der Maximalabstände verfolgen kann, darüber nichts Bestimmtes sagen.

Nehmen wir einmal die Zusammengehörigkeit der Köpfe mit diesen Schwänzen als richtig an, so bleibt noch als letzte Frage: „In welcher Weise sind diese Köpfe und Schwänze einander zugeordnet?" Es wäre das Nächstliegende anzunehmen, daß die erste Serie nach dem Schwanz bei λ 3603, die zweite nach λ 3629 und die dritte nach λ 3658 liefe; dann müßte man allerdings die weitere Annahme machen, daß der Schwanz der vierten Serie schon zu schwach sei, um noch gesehen zu werden. Ich möchte aber die Aufmerksamkeit auf eine andere Zusammenfassung lenken, welche zu ganz seltsamen Relationen führt.

Da die Intensität der Schwänze einer Gruppe nach dem violetten Ende hin zunimmt, liegt es nahe, zu untersuchen, ob nicht hinter dem Schwanz bei λ 3603 noch ein weiterer, hellerer folgt. Wenn dieser gesuchte Schwanz sich in die Gruppe regelmäßig einfügen soll, müßte er ungefähr bei λ 3579 liegen; ob an dieser Stelle, die kurz hinter dem hellen Anfang der vierten Cyanbandengruppe bei λ 3590 liegt, tatsächlich ein Schwanz vorhanden ist, läßt sich natürlich sehr schwer entscheiden. Man ist aber sehr versucht, diese Annahme zu machen, um so eher, als sie uns gleichzeitig ein Mittel in die Hand gibt, das bisher unerklärte Intensitätsminimum hinter dieser Stelle mitzubegründen. Dann müßten wir also annehmen, daß die Hauptserie der Bandengruppe bei λ 3884 zu diesem Schwanz läuft, während die zweite Serie nach λ 3603, die dritte nach λ 3629 und die vierte nach λ 3658 geht; und da möchte ich auf einige einfache Verhältnisse aufmerksam machen, welche zwischen den so zugeordneten Köpfen und Schwänzen bestehen. Subtrahieren

1) Vergl. H. Kayser, Handbuch d. Sp. Bd. II. p. 486.

wir zunächst jedesmal den Schwanz von seinem zugehörigen Kopf, so erhalten wir: [1])

Serie	Länge der Serien	Differenz
I	3884—3579 = 305	36
II	3872—3603 = 269	36
III	3862—3629 = 233	36
IV	3855—3658 = 197	

Es zeigt sich also, daß *die Längen der Serie eine arithmetische Reihe* bilden. Dividieren wir ferner jedesmal den Kopf durch den zugehörigen Schwanz, so bekommen wir:

Serie	Quotienten	Differenz
I	$\frac{3884}{3579} = 1{,}0852$	0,0105
II	$\frac{3872}{3603} = 1{,}0747$	0,0105
III	$\frac{3862}{3629} = 1{,}0642$	0,0103
IV	$\frac{3855}{3658} = 1{,}0539$	

Wir sehen also, daß auch *diese Quotienten* annähernd *eine arithmetische Reihe* bilden. Ob nun in dieser Zusammenfassung die Struktur der Bandengruppe endgültig gefunden ist, bleibt natürlich immer noch zweifelhaft; jedenfalls beweisen diese Relationen aufs neue die *Richtigkeit der Kingschen Annahme.* Es würde eine lohnende Aufgabe sein, mit Hilfe der in den Tabellen gegebenen Zahlen und der von Thiele aufgestellten Formel nachzuprüfen, welche Zusammenfassung von Köpfen und Schwänzen die richtige ist.

Vergegenwärtigen wir uns zum Schlusse noch einmal zusammenstellend die wesentlichen *Resultate* der vorliegenden Arbeit, so können wir sie in folgende Sätze zusammenfassen:

1. *Die dritte Cyanbandengruppe besteht aus Doppellinien,* die aber stellenweise sehr nahe zusammen und auch aufeinander liegen.

1) Es sind in dieser und der folgenden Tabelle die Annäherungswerte benutzt, weil für die Schwänze λ 3579 und λ 3603 die Wellenlängen nicht genau bestimmt werden konnten.

2. *Die Maximalabstände in den vier stärksten Serien dieser Bandengruppe bilden eine arithmetische Reihe.*
3. *Die Annahme von King,* die von ihm gefundenen umgekehrten Kanten seien den bisher bekannten Köpfen als Schwänze zuzuordnen, *erhält einen großen Grad von Wahrscheinlichkeit.*
4. Die Zusammengehörigkeit von Kopfgruppen und Gruppen von Schwänzen findet in der Weise statt, daß *der erste Kopf und der letzte Schwanz, der zweite Kopf und der vorletzte Schwanz u. s. f. von einer Serie gebildet* werden.
5. *Die Thielesche Hypothese,* wonach die Abstände der aufeinanderfolgenden Linien einer Serie nur bis zu einer bestimmten Grenze wachsen, dann wieder abnehmen und zu umgekehrten Kanten, den Schwänzen, laufen, *scheint richtig zu sein.*

Die den vorhergehenden Ausführungen zugrunde liegenden Versuche und Messungen sind im physikalischen Institut der Universität Bonn angestellt worden. Es sei mir an dieser Stelle gestattet, dem Direktor des Instituts, meinem hochverehrten Herrn Lehrer Prof. H. Kayser, der mir, wie schon eingangs erwähnt, die Anregung zu dieser Arbeit gab und ihr Fortschreiten stets mit lebhaftem Interesse verfolgte, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Auch möchte ich nicht verfehlen, den Herren Privatdozenten Dr. Konen und Dr. Hagenbach für die Ratschläge, mit denen sie mich im praktischen Teil meiner Arbeit unterstützten, herzlichst zu danken.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Thesen:

1. Für die Bestimmung der mittleren Dichte der Erde sind die Methoden der Drehwage und der gewöhnlichen Wage als gleichwertig zu betrachten.

2. Die Differenzen zwischen den Wellenlängensystemen von Perot-Fabry und Rowland sind durch die Fehlerhaftigkeit der Koïnzidenzmethode zu erklären.

3. Von den Hypothesen über die Bildung des Erdöls ist derjenigen, welche als hauptsächlichste Quelle desselben die marine Fauna annimmt, der Vorzug zu geben.

4. Durch die Annahme, die Quartoausgaben der Shakespeareschen Dramen beruhten auf räuberischen Nachschriften, die mit Hilfe des Stenographiesystems von Timothy Bright angefertigt worden, lassen sich viele Abweichungen zwischen den Quartos und der ersten Folioausgabe recht gut erklären.

5. Der gotische Spitzbogen geht nicht auf ein maurisches Vorbild zurück.

Lebenslauf.

Ich bin geboren am 13. Oktober 1882 in Bendorf am Rhein (bei Koblenz) als Sohn des Direktors der „Rheinischen Industrie für feuerfeste Produkte", Wilhelm Jungbluth, und heiße mit meinen Vornamen Ludwig August Franz. Nach dem frühen Tode meines Vaters siedelten wir im Jahre 1888 nach Düsseldorf über, wo ich auf der „höheren Bürgerschule", späteren Oberrealschule meine wissenschaftliche Vorbildung genoß. Ostern 1900 verließ ich die Anstalt mit dem Zeugnis der Reife und studierte danach zunächst vier Semester in Bonn, darauf ein Sommersemester in München und ein Wintersemester in Berlin und dann wieder in Bonn Naturwissenschaften und Mathematik. Meine Lehrer in Vorlesungen, Laboratorien und Übungen waren die Herren Professoren und Dozenten: Anschütz, Bucherer, Clemen, Dyroff, Graetz, Hagenbach, Heffter, Hoffmann, Jaeger, Kaufmann, Kayser, Konen, Kortum, Laspeyres, Litzmann, Loeschke, Lummer, Martens, Mönnichmeyer, Oemichen, Partheil, Planck, Pohlig, Pringsheim, Rimbach, Stolze, Strasburger, Stumpf, Voll, Wentscher, Wolff.

Ihnen allen bin ich zu Dank verpflichtet.

